

# ***Diseño de una metodología de evaluación de la eficiencia energética y ambiental de la funcionalidad de los territorios (transporte y localización de actividades)***

## **Report de recerca N° 3**

Jorge Cerda Troncoso

**Marzo 2010**

### **Problema de investigación**

El abaratamiento, en términos relativos, del coste de transporte, la revolución de las comunicaciones, y el cambio del modelo social tras la caída del sistema fordista son los procesos que están detrás del nuevo paradigma de utilización del territorio. En las tres últimas décadas las metrópolis del sudoeste europeo, tradicionalmente caracterizadas por su compacidad y diversidad, han experimentado un proceso de dispersión territorial. Las ratios de consumo de suelo se han disparado a la par que los territorios costeros y agropecuarios que las rodeaban se han visto afectados por la expansión urbana. Este nuevo paradigma se ha basado fundamentalmente en el uso del automóvil, a la par que la urbanización ha perpetrado negativamente en el funcionamiento de los sistemas ecológicos. Las externalidades por tanto de este modelo son importantes. En este contexto, se genera el desafío de evaluar, monitorear y predecir algunas de las externalidades más importantes ligadas a los procesos metropolitanos contemporáneos, bajo un enfoque integral del fenómeno, que permitiría detectar los elementos que restan eficiencia al sistema, adelantar los impactos negativos de planes o programas y en su caso mitigarlos con medidas preventivas antes de que se implementen efectivamente.

El tradicional enfoque de sostenibilidad a partir del cambio modal de los viajes, reduce el enfoque solo a un tema tecnológico, sin dar la real dimensión sistémica del fenómeno de la movilidad en las ciudades. Así la elección modal es el efecto de una secuencia de factores que tienen que ver con la estructura de actividades en la ciudad, y tal vez más importante, con los patrones funcionales de la población.

En la práctica, las políticas de infraestructura y transporte a nivel metropolitano se han basado esencialmente en los resultados de modelos de transporte 4 etapas (generación, distribución, partición modal, y asignación), en donde la optimización ha recaído fundamentalmente en los aspectos relacionados con la eficiencia privada (de los operadores y de los usuarios) del sistema tanto en lo referente a costes como a tiempo (accesibilidad).

Los modelos de transporte tienen sus orígenes en los años 60, cuando los “planners” de la época se enfrentaban a la necesidad de readecuar las ciudades para dar cupo a la movilidad del transporte privado. La lógica de la planificación de transporte es resolver un problema de asignación de oferta de capacidad, para un escenario de demanda de capacidad dado. Es en definitiva un problema técnico, que requiere como input, en sus versiones originales, la estructura espacial de las demandas a satisfacer.

La lógica de la secuencia de modelación es el evaluar el efecto de los cambios en la estructura de oferta de transporte (redes y capacidades), es decir, evaluar proyectos o planes de proyectos de

inversión en infraestructura y servicios de transporte. La evaluación de un proyecto o un plan lo que hace es comparar las situaciones del sistema de transporte para un año base (en lo que se refiere a la demanda, y a proyectos de oferta ya decididos), y en distintos períodos de corte (proyecciones de la demanda, y de proyectos ya decididos en el tiempo y espacio). Los indicadores de evaluación tradicionales son disminución en tiempos de viajes, en gastos de combustibles, y en kilómetros recorridos. Estos indicadores se llevan a unidades monetarias (a través de distintos valores previamente determinados), y se realiza una evaluación de proyecto tradicional (Valor Actual Neto social, Tasa Interna de Retorno, etc).

En la última década se han incorporado otros indicadores de evaluación a los proyectos. Unos surgen de la misma estructura de modelación de transporte como ser la disminución de emisiones de contaminantes atmosféricos, disminución de accidentes, etc. Y otros surge de evaluaciones posteriores como la evaluación ambiental del proyecto (que dicho sea de paso, se alimenta con mucha de la información del modelamiento de transporte).

Por otra parte, la modelación de transporte se debe alimentar, en forma exógena, de la estructura de actividades que existirá en la ciudad para la situación base, y para los distintos períodos de corte a considerar en la evaluación. Hasta ahora la evaluación de planes de transporte han tendido a realizar escenarios de futuro de la ciudad atendiendo, principalmente, a extrapolaciones (atemperadas por medio de diagnósticos más o menos voluntaristas) de las dinámicas de crecimiento y movilidad resultantes del pasado, más o menos inmediato. La simple extrapolación de tendencias, sin embargo, se ha demostrado como un instrumento claramente ineficaz a fin de anticipar la localización real de las actividades urbanas, así como la movilidad por ellas generada. Y ello no sólo porque la realidad es siempre más compleja que cualquier modelo humano de desarrollo futuro, sino también, y ante todo, por la naturaleza intrínsecamente inductiva del sistema de planificación del transporte mayoritariamente utilizado.

En general esta metodología se ha aplicado en la elaboración de distintos planes de transporte e infraestructura en España, y específicamente en Barcelona. El Plan Director de Movilidad de la Región Metropolitana de Barcelona (PDM), en donde se aplica el modelo SIMCAT, que es un modelo secuencial, con un modelo de partición modal incremental, un método de asignación de equilibrio (flujo-demora), con descuento de flujo fijo de carga y pasajeros, y con una evaluación multicriterio final. Esta metodología también ha sido aplicada en el Plan Director de Infraestructura del transporte público y colectivo para la Región Metropolitana de Barcelona 2001-2010, y al plan de Carreteras de Catalunya 1995-2005.

Como se mencionara antes, la componente ambiental en los modelos de transporte es actual, y se ha construido en la medida que la toma de decisión ha exigido la incorporación de nuevas variables. Así, la forma en que se ha abordado tradicionalmente este análisis es en base al enfoque de factores de emisión de flujos vehiculares. Al respecto existen variadas plataformas informáticas que se acoplan a las salidas de los modelos de transporte, para cuantificar las emisiones de contaminantes. La mayoría de estos modos de cálculo requiere de una cantidad grande de información, respecto de la operación de los vehículos, para poder bien estimar las emisiones totales. Los criterios más simples que se utilizan son las pendientes de las vías y la velocidad de paso. Los métodos más complejos (MOBILE 6) exigen la información del ciclo de marcha de los vehículos (tiempos y velocidades en cada marcha, número de paradas, tiempo en cada parada, etc), el tipo de vehículo, etc. A cada una de estas condiciones se le aplica un factor de emisión por tipo de contaminante ya sea deducido en laboratorios específicos de cada país, o factores estándar publicados en la literatura especializada.

La otra línea de investigación que se acerca al tema de emisiones asociadas al transporte, son los modelos de fotoquímica regional, los cuales se estructura de forma secuencial, aplicado modelos de meteorológicos, modelo de emisiones, y un modelo de transporte (de emisiones) en aire y química atmosférica. La emisiones del transporte se enmarcan en las llamadas fuentes móviles, y son tratadas a escalas bastante agregadas. De hecho los modelos de escala regional, consideran el uso de suelo "Urbano", como una fuente areal de emisiones, sin llegar a especificar situaciones de exposición a escalas territoriales pequeñas (por ejemplo secciones censales).

Las políticas ambientales han influido en la temática de transporte en varios niveles. A nivel táctico (proyecto específico) a través de la evaluación de impacto ambiental, e incorporación de buenas prácticas ambientales en las distintas fases del proyecto. A nivel estratégico, se enmarca

el desarrollo del Plan en lo que se conoce como proceso de Evaluación Ambiental Estratégica, que asegura la consideración de variables ambientales en la etapa de la estructuración de los distintos planes de proyectos. Luego la visión de simulación de efectos ambientales de un plan de transporte, o de ordenamiento territorial, no está presente a nivel estratégico (planes y programas).

Por otra parte los enfoques de sostenibilidad aplicados al transporte o movilidad, han sido fuertemente enfocados al fenómeno contemporáneo de “Sprawl”, en el contexto urbano, y de cambio modal en el contexto de transporte, por lo que no existe una visión integrada de sostenibilidad, y que además sea operativa, en el sentido de tener herramientas o procedimientos funcionales, para simular los efectos de cualquier plan territorial.

### **Propuesta de investigación**

El problema detectado en el punto anterior se puede enfrentar tomando como base la concepción de “sistema territorial/urbano”, como método para re-enfocar al transporte como un elemento más del sistema, el que es condicionado e inducido por los otros elementos tales como las actividades no residenciales, las residencias, y el comportamiento de las personas. Ahora, cada uno de estos elementos tiene implicancias ambientales, sociales y económicas. Por ejemplo, conocer cuál es la participación en las emisiones espacializadas de una ciudad, de los flujos de transporte, versus la actividad industrial, o los comercios, o las propias residencias. Esta pregunta obliga a entender el sistema en su globalidad, eso quiere decir, sus relaciones e intensidades.

Por lo antes expuesto es que se propone un modelo de sostenibilidad funcional de áreas metropolitanas, basado en un modelo integrado de transporte y uso del suelo que permita evaluar explícitamente la eficiencia social, económica y sobre todo ambiental del funcionamiento de las ciudades en relación a los flujos y a las actividades instaladas en los territorios.

Con este sistema se podrá evaluar, desde las dimensiones ambiental, social y económica, en otras cosas 1) la sostenibilidad actual del sistema urbano, 2) las zonas que requieren una atención especial, en el sentido que sean inductoras de comportamientos ambientales, sociales o económicos no deseados en el sistema 3) el impacto, integral, de las nuevas políticas de transporte, ligadas al trasvase modal de la demanda (del coche al transporte público) y a la construcción de nuevas redes, 4) el impacto, integral, de las políticas de crecimiento urbano. Con esto, se podrán construir los *trade offs* particulares de cada sistema urbano, sobre las dimensiones restantes, cuando el sistema de transporte-uso del suelo se optimiza en alguna de ellas.

El presente reporte se enmarca en el proyecto “Modelo de evaluación de la eficiencia energética y ambiental, de la movilidad y la estructura de usos de suelo, para la región metropolitana de Barcelona” (E 08/08), financiado por el Ministerio de Fomento del Gobierno de España, en el marco de las ayudas públicas en investigación, desarrollo e innovación en energía y cambio climático en el marco del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2008-2011.

### **Diseño Metodológico**

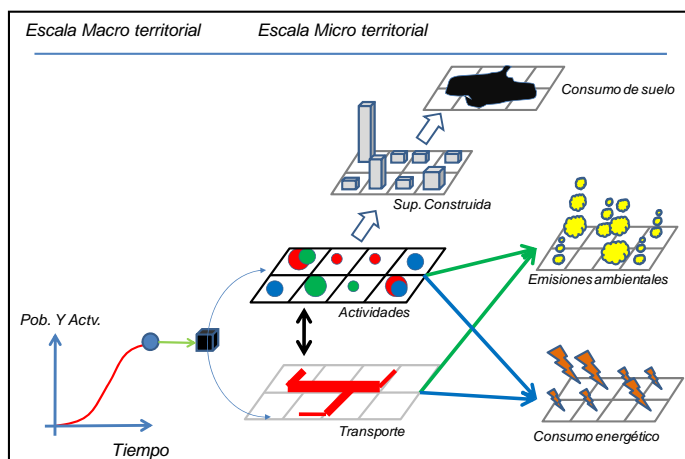
El objetivo principal del proyecto es el desarrollo tecnológico de un modelo de evaluación de la eficiencia energética y ambiental, de la movilidad y la estructura de usos del suelo, aplicable a la metrópoli de Barcelona. En concreto tres son los pilares en los que se sustenta el modelo: a) la cuantificación del consumo energético ambiental, b) la cuantificación del consumo del suelo, y c) la evaluación social de la equidad en el acceso al territorio.

En la dimensión práctica se busca aplicar el modelo para evaluar la situación base de eficiencia del sistema metropolitano de Barcelona, y posteriormente aplicar el modelo en fase predictiva, para evaluar distintos planes de infraestructura, transporte, y ordenamiento territorial, y su impacto en la sostenibilidad (económica, social y ambiental) de los sistemas metropolitanos.

Para dar sustento a los objetivos expuestos, se requiere diseñar un procedimiento metodológico, de base cuantitativa, que una funcionalmente procedimientos de distintas variables, y escalas. Para esto, lo primero que se plantea es una estructura maestra de modelación, cuya filosofía es la

de permitir una interdependencia de causalidad circular, en donde el uso del suelo está influido por el nivel de accesibilidad y viceversa, y ambos alimenten los modelos de externalidades ambientales de consumo de suelo y emisiones ambientales. Este modelo conceptual se presenta en la siguiente figura.

Figura 1.- Modelo conceptual para evaluar la eficiencia energética y ambiental de planes y proyectos



El modelo conceptual reconoce dos escalas de análisis necesariamente diferentes. La primera es la escala macroterritorial que da cuenta de la proyección del crecimiento de la RMB como un todo, en la dimensión de actividades. Esta proyección se realiza solo una vez, en formato paramétrico (dependiente de parámetros que pueden cambiar de valor a voluntad del modelador).

La segunda escala es la escala microterritorial que es en donde se resuelve la problemática espacial o de ordenamiento de las distintas actividades, y de los efectos (interacciones, emisiones, consumos, etc) que generan estas localizaciones.

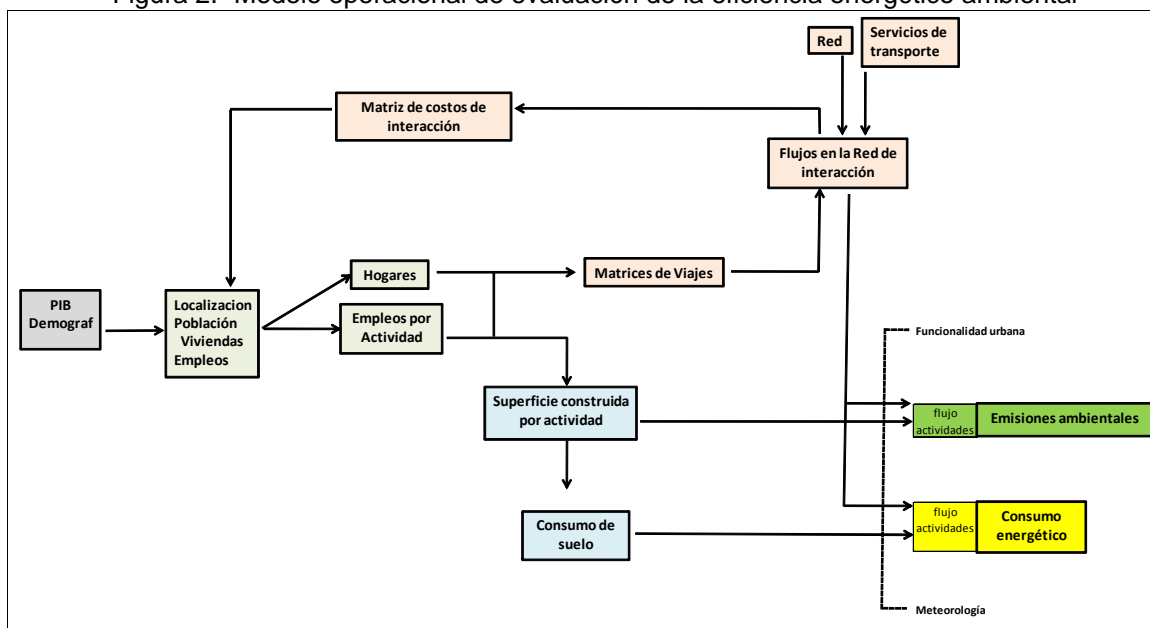
En el esquema se reconocen cuatro áreas temáticas que componen el modelo microterritorial, que son el modelo de localización de actividades, el modelo de transporte, el modelo de consumo de suelo, y el modelo de emisiones ambientales.

El funcionamiento de este procedimiento considera que: 1) El total de actividades proyectadas se emplazan e interactúan en un modelo de localización-interacción, cargando el territorio de actividades, y los corredores con flujo de interacción. 2) Las actividades localizadas determinan la morfología de la superficie construida, y finalmente el suelo artificial requerido por la superficie construida. 3) Con estos resultados (localización-morfología-interacción) se alimenta, por una parte al modelo de consumo energético, y por otra al modelo de emisiones ambientales (ambos con el concepto de fuente fija y fuente móvil).

En base a este procedimiento es que se puede evaluar el efecto microterritorial de una inversión en infraestructura de transporte, por el hecho que al cambiar las variables de servicio del sistema de transporte, cambian las tendencias de localización, y por ende las tendencias de consumo de suelo y externalidades ambientales. También se pueden evaluar políticas o planes de ordenamiento de actividades, en el sentido de restringir o permitir cierto tipo de actividades, lo que alterará los patrones de localización y de interacción, afectando nuevamente los patrones de consumo de suelo y externalidades ambientales.

El esquema expuesto en la figura anterior se transforma en una secuencia específica de cálculos y de interacción entre distintos procesos matemáticos, generando el siguiente diagrama de flujo

Figura 2.- Modelo operacional de evaluación de la eficiencia energético ambiental



En distintos colores se pueden observar las grandes temáticas involucradas en el proyecto, y sus módulos específicos, los que se describen brevemente a continuación:

### 1.- Modelo demográfico y de localización de actividades

Este modelo contempla las subtarefas de 1) proyección del PIB, y demografía, 2) Localización de población, vivienda y empleos, 3) diferenciación de empleos por actividad económica.

1.1.- Proyección del PIB y demografía: este es un procedimiento exógeno al modelo (de escala macroterritorial) en el que se proyecta la población y el producto. La población se obtiene de un modelo de cohorte a nivel de Cataluña, y el PIB surge en base de distintos escenarios de productividad.

1.2.- Localización de población, viviendas, y empleo: El modelo se basa en la creación de hogares como elemento estructural de la demanda de vivienda. Distinguiendo los hogares que se crean por el movimiento natural, de aquellos que lo hacen por el movimiento migratorio. El modelo de movimiento natural parte de la proyección de la estructura de edades y de las pautas de formación de hogares. El modelo de movimiento migratorio calcula la capacidad del mercado laboral catalán para asimilar nuevos ocupados. La localización de los lugares de trabajo localizado (en adelante LTL) se hace a partir de la aplicación de un modelo gravitacional constreñido en origen, calibrado con la matriz de movilidad obligada del censo 2001.

1.3.- Hogares: posteriormente el total de hogares se clasifica categoría socioprofesional del principal (como indicativo de nivel de ingreso). Para esto se utiliza una matriz de probabilidad calculada a partir de los datos del censo 2001.

1.4.- Empleos por actividad: en este procedimiento los empleos totales se diferencian por actividad (CNAE). El objetivo es recibir el resultado de empleos totales por municipio y distribuirlos por actividad económica, para posteriormente determinar la superficie de techo inducida por estos empleos.

El procedimiento específico contempla la conformación de base de datos de LTL por actividad económica (CNAE 1 dígito), municipio, y año. Con esta información se calculan índices de especialización por actividad, municipio, año, con la siguiente ecuación:

$$E_{\text{municipio } i, \text{ actividad } k} = \frac{\text{Proporci3n}_{\text{actividad } k, \text{ municipio } i}}{\text{Proporci3n}_{\text{actividad } k, \text{ regi3n}}}$$

Donde

$E_{\text{municipio } i, \text{ actividad } k}$  : 3ndice de especializaci3n del municipio  $i$  en la actividad  $k$

$\text{Proporci3n}_{\text{actividad } k, \text{ municipio } i}$  : proporci3n de la actividad  $k$  en el municipio  $i$

$\text{Proporci3n}_{\text{actividad } k, \text{ regi3n}}$  : proporci3n de la actividad  $k$  en el total de municipios (regi3n)

Los valores de este 3ndice pueden ser menores, igual, o mayores que uno. Cuando el valor es menor que uno se entiende que la proporci3n de la actividad en el municipio es menor que la misma proporci3n en la regi3n, por lo que no hay especializaci3n. Si el 3ndice tiene un valor igual a 1, las proporci3nes son iguales, por lo que no se concluye nada. Por 3ltimo, cuando el 3ndice es mayor que uno, se dice que en el municipio la actividad tiene mayor proporci3n que en la regi3n, por lo que se habla de una especializaci3n.

Calculado este 3ndice de especializaci3n por actividad municipio, para los a3os 1991 y 2001, estos valores se proyectas al futuro, en base a modelos gravitacionales.

Por otra parte se proyectan tambi3n las proporci3nes de las actividades para la regi3n, con las que al combinarlas con los 3ndices de especializaci3n proyectados, se obtienen las proporci3nes futuras de las actividades en cada municipio.

Finalmente, con los empleos totales, y con las proporci3nes antes calculadas, se obtienen los empleos por actividad econ3mica y municipio.

## 2.- Modelo de transporte

El modelo de transporte contempla las subtareass de 1) matrices de viajes, 2) flujos en la red de interacci3n, 3) redes y servicios, y 4) c3lculo de costos de interacci3n.

2.1.- Matrices de viajes: con los hogares por categor3a socioprofesional, y los empleos por actividad econ3mica se procede a calcular, en base al modelo cl3sico de transporte, primero los viajes generados y atra3dos (en base a modelos econom3tricos calibrados con la EMQ 2001), luego la distribuci3n espacial de estos viajes (en base a modelos gravitacionales doblemente acotados), y finalmente la parti3i3n modal de los mismos (en base a matrices agregadas de parti3i3n modal del a3o 2001, 2006, las que se consideran invariantes en el tiempo). As3 se obtienen finalmente las matrices de distribuci3n de viajes por modo y prop3sito. La plataforma utilizada para esto es SIMCAT-ATMAX, ya existente y utilizados para la evaluaci3n de planes de infraestructura en la Regi3n Metropolitana de Barcelona.

2.2.- Flujos en la red de interacci3n: corresponde a la cuarta etapa del modelo cl3sico, que es la asignaci3n de las matrices de viajes a las distintas redes disponibles de transporte. El producto de este modelo son los flujos de veh3culos y pasajeros por las redes, y las variables de servicios del sistema considerando las cargas de veh3culos y pasajeros. Este procedimiento tambi3n es parte de la plataforma SIMCAT-ATMAX.

2.3.- Red, servicios de transporte: corresponde a informaci3n ex3gena al modelo, que da cuenta de la conformaci3n de las redes en el territorio, los distintos sistemas de transporte (p3blico, privado, etc), y sus caracter3sticas operacionales (tarifass, frecuencias, itinerarios, etc.). En la plataforma SIMCAT-ATMAX est3n definidas las distintas redes de a ser consideradas pro distintos cortes temporales, en funci3n de la implementaci3n de proyectos del PDI, y adem3s de escenarios de los servicios de transporte p3blico.

2.4.- Matrices de costos de interacci3n: luego de asignar los viajes a la red, se calculan los costos de interacci3n entre las zonas de modelaci3n, considerando las saturaciones y cargas de los flujos. Este procedimiento tambi3n es parte de los modelos SIMCAT-ATMAX. Finalmente esta matriz de costos retroalimenta al modelo de localizaci3n de la poblaci3n viviendas y empleo, con lo que se cierra el ciclo de la modelaci3n de transporte y actividades.



### 3.- Modelo de consumo de suelo

El modelo de consumo de suelo contempla las subtareas de 1) superficie construida por actividad, 2) Consumo de suelo artificializado.

3.1.- Superficie construida por actividad: el modelo de localización de actividades finalmente entrega el número de hogares (viviendas) por categoría socioeconómica por zona, y también el número de empleos por actividad CNAE por zona. Estas actividades (empleos) finalmente ocupan un superficie construida específica. Para determinar esta superficie construida se calcularon estándares superficie por empleo para cada actividad CNAE, los que se aplican directamente al número de LTL por actividad, obteniéndose así la superficie de techo de estas actividades.

3.2.- Consumo de suelo: este modelo incorpora la superficie de actividades calculada a partir de los estándares antes mencionado en un modelo econométrico que explica la superficie artificializada total, considerando la superficie de calles y/o espacios abiertos.

Para esto, previamente se definió la base de suelo artificializado a ser considerada. Sobre esta base se homogeneizaron las distintas categorías, y se diferenció la superficie artificializada comprendida en parcelas catastrales, de las de calles o espacios abiertos.

El modelo econométrico tiene la siguiente estructura:

$$Suelo\ artificializado_{municipio\ i} = \alpha + \sum_{j=actividades\ CNAE}^9 \beta_j * Superficie\ techo_{j,municipio\ i}$$

En este sentido se tienen dos estrategias de modelación, donde en la primera sólo se modela el suelo artificializado en parcela de catastro (como variable dependiente), y en la segunda se modela como variable dependiente el total de suelo artificializado. La primera estructura de modelación tiene la ventaja de permitir un balance entre la superficie modelada, la superficie de calles, y la superficie de suelo artificial sin parcela catastral, de manera de “amortiguar” el efecto de aumento de superficie de techo antes que se genere la expansión del suelo artificializado total. En la segunda estructura el efecto es director, es decir, si la superficie de techo aumenta, aumentará el suelo artificializado total.

### 4.- Modelo de consumo energético

El modelo de consumo energético, se refiere al consumo por parte de las actividades localizadas en el territorio. El modelo contempla las subtareas de 1) consumo energético del transporte, y 2) consumo energético de las actividades localizadas.

4.1.- Consumo energético del transporte: estos cálculos y modelos determinan el consumo del global del sistema de transporte en término de combustible y electricidad. La plataforma SIMCAT-ATMAX ya tiene incorporado estos cálculos, y los reporta en las distintas salidas de evaluación de transporte.

4.2.- Consumo energético de las actividades localizadas: en este caso, solo se cuenta con información de consumo eléctrico por parte de las actividades localizadas. Es así que el modelo de consumo energético contempla la calibración de distintos modelos para distintas actividades, como ser residencias, oficinas, comercios, industrias, hotelería, deportes, etc. Así, la variable dependiente siempre son consumos eléctricos anuales, y las variables explicativas son superficies de techo por actividad, y variables complementarias como son las condiciones meteorológicas del territorio, y el tiempo medio de duración de cada actividad (tiempo de trabajo, tiempo de compras, tiempo de educación, etc).

La estructura general de estos modelos se presenta en la siguiente ecuación:

$$\ln(\text{Consumo}) = \text{cte} + \beta \ln(\text{Actividad}) + \beta V_{\text{complementarias}}$$

$$\text{Consumo} = \text{Actividad}^{\beta} e^{(\text{cte} + \beta V_{\text{complementarias}})}$$

La relación log-log en la estructura de modelación permite identificar dos efectos principales en la estructura del consumo. El primero tiene que ver con la masa consumidora, que en general es representada por la superficie de techo de la actividad, ajustada por un exponente que la transforma en masa consumidora equivalente, y por lo tanto comparable con otras masas.

El segundo efecto es el que actúa sobre el factor de consumo unitario, o tasa de consumo de la masa equivalente. Estas variables se representan en la potencia del número e (2,7182....), siendo su efecto directo a inverso según el signo que resulte.

### 5.- Modelo de emisiones ambientales

El modelo de emisiones ambiental contempla las subareas de 1) emisiones ambientales del transporte, 2) emisiones ambientales de las actividades localizadas.

5.1.- Emisiones ambientales del transporte: el procedimiento considera los distintos flujos de vehículos, y sus tasas de emisión de gases contaminantes. La plataforma SIMCAT-ATMAX ya tiene incorporado estos cálculos, y los reporta en las distintas salidas de evaluación de transporte.

5.2.- Emisiones ambientales de las actividades localizadas: en este caso sólo se considera la superficie de techo y su tasa de emisión de gases.

### Procedimiento de evaluación de planes

Los modelos antes presentados se integran en un único procedimiento que permite evaluar dos tipos de planes, que son planes (o proyectos) de transporte, y planes (o proyectos) de ordenamiento de actividades. Para lo anterior es necesario definir una situación base contra la cual comparar. Dicha situación base se refiere a la localización de población y actividades, los niveles de flujo y costos del sistema de transporte, la estructura de consumo energético, de emisiones ambientales, y de consumo de suelo (suelo artificializado), todo lo anterior para distintos cortes temporales de corto y mediano plazo.

La secuencia que sigue la evaluación de un plan de transporte u ordenamiento es la siguiente:

Paso 1.- la implementación de un plan de transporte modifica la estructura de los costos de interacción de la red de transporte, por lo que se actualiza dicha matriz. La implementación de un plan de ordenamiento de actividades modifica la distribución de potenciales puesto de trabajo total en el territorio, por lo que se altera el atractivo laboral de los territorios.

Paso 2.- Se aplica el modelo demográfico y de localización de actividades con las nuevas matrices de costos de interacción, y de atractivo laboral de los territorios. Producto de esto se tendrá un nuevo vector de LTL totales por municipio. La comparación de esta nueva situación con la situación base se debe interpretar no en su valor absoluto, sino que como una "tendencia" de relocalización de empleos, producto de la implementación del plan. Esta tendencia tiene la ventaja que identifica los municipios que verán aumentado su número de empleos, pero también los que disminuyen sus empleados totales, por lo que surgen los efectos diferenciados totales del plan en el territorio.

Al variar los empleos totales varían los empleos por actividad, con lo que también varía la superficie de techo por actividad. Nuevamente es necesaria aclarar que el resultado del modelo puede indicar que una determinada superficie de techo disminuye (se destruye), lo que no debe



ser interpretado en forma literal, sino más bien como una tendencia de presión y inmobiliaria (aumento y disminución).

Paso 3.- Con los nuevos valores de población y empleo se aplica el modelo de transporte para determinar los nuevos valores de flujo en la red.

Paso 4.- Con los nuevos valores de superficie de techo por actividad, se alimenta el modelo de consumo de suelo, del que se obtiene el efecto en el suelo artificializado, tanto en el aumento como en la tendencia de disminución (que se puede interpretar como una pérdida de presión, o interés en dichos municipios).

Paso 5.- Con los nuevos valores de superficie de techo, y suelo artificializado, se alimentan los distintos modelos, obteniéndose los nuevos valores de consumo eléctrico por actividad y total.

Por otra parte, con los nuevos valores de flujo en la red de transporte, se calculan los nuevos valores de consumo energético y de combustible.

Paso 6.- Con los nuevos valores de superficie de techo, se calculan los nuevos valores de emisiones ambientales por actividad y total.

Con los nuevos valores de flujo en la red de transporte, se calculan los nuevos valores de emisiones ambientales en la red.

Paso 7.- Con los nuevos valores en todas las dimensiones analizadas, se recalculan los indicadores sintéticos de eficiencia espacial, concluyendo respecto de los efectos de los planes evaluados.

### **Consideraciones finales**

El diseño metodológico presentado actualmente está en desarrollo. Ya se han calibrado la mayoría de los modelos expuestos, restando sólo las definiciones de las situaciones base del sistema de transporte y de localización de actividades.

El diseño modular expuesto permite mejorar el estándar de los distintos submodelos utilizados, siempre y cuando se mantenga la máxima de recibir y entregar los valores que requiere el sistema integrado.

La filosofía base del modelo es la de lograr la integración de submodelos de las distintas temáticas analizadas, de modo que se comuniquen unos con otros. No se busca la mayor complejidad en cada submodelo, sino más bien se privilegia la flexibilidad para la integración.